

RESULT LIST

1 result found in the Worldwide database for:

jp2001050908 (priority or application number or publication number)

(Results are sorted by date of upload in database)

1 MILLIMETER WAVE IMAGING SYSTEM

Inventor: SASAKI AIICHIRO; NAGATSUMA TADAO;
(+1)

Applicant: NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE

EC:

IPC: *G01N22/00; G01N21/21; G01N22/02* (+5)

Publication info: **JP2001050908** - 2001-02-23

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

MILLIMETER WAVE IMAGING SYSTEM

Publication number: JP2001050908

Publication date: 2001-02-23

Inventor: SASAKI AIICHIRO; NAGATSUMA TADAO;
SHINAGAWA MITSURU

Applicant: NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE

Classification:

- **International:** **G01N22/00; G01N21/21; G01N22/02; G01N22/00;**
G01N21/21; (IPC1-7): G01N22/00; G01N21/21;
G01N22/02

- **European:**

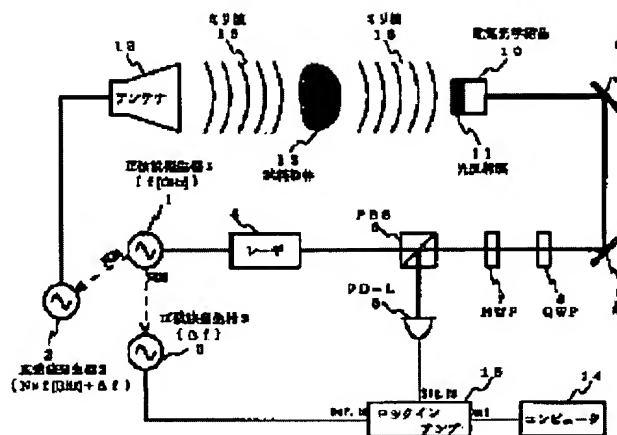
Application number: JP19990229132 19990813

Priority number(s): JP19990229132 19990813

[Report a data error here](#)

Abstract of JP2001050908

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain an image with a high contrast that can be recognized to the details by emitting a pulse beam with a prescribed period and a sinusoidal wave electromagnetic wave with a millimeter wave band frequency where a different frequency has been added to a first frequency, and detecting the phase difference between an electrical signal, where the pulse beam through an object is subjected to photoelectric conversion and a reference sinusoidal wave. **SOLUTION:** A millimeter wave 16 emitted from an antenna 12 is transmitted through a sample object 13 and is received by an electrochemical crystal 10. A pulse beam emitted from a laser 4 is transmitted through a PBS(polarization beam splitter) 6 for taking out a first polarization component, is transmitted through a HWP (half-wave plate) 7 and a QWP(quarter-wave plate) 8, and is reflected by a mirror 9 and enters the electrochemical crystal 10. A pulse beam that is reflected by an optical reflection film 11, while a second polarization component is generated enters a PD-L (photodiode) 5 from a PBS 6. The strength of an electrical signal extracted by a lock-in amplifier 15 is processed by a computer 14 and is used as the data of the millimeter wave intensity distribution image of the sample object 13.



Data supplied from the [esp@cenet](#) database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-50908
(P2001-50908A)

(43)公開日 平成13年2月23日 (2001.2.23)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	データ* (参考)
G 0 1 N 22/00		C 0 1 N 22/00	M 2 G 0 5 9
21/21		21/21	Z
22/02		22/02	C

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平11-229132

(22)出願日 平成11年8月13日 (1999.8.13)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者 佐々木 愛一郎

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 永妻 忠夫

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(74)代理人 100064621

弁理士 山川 政樹

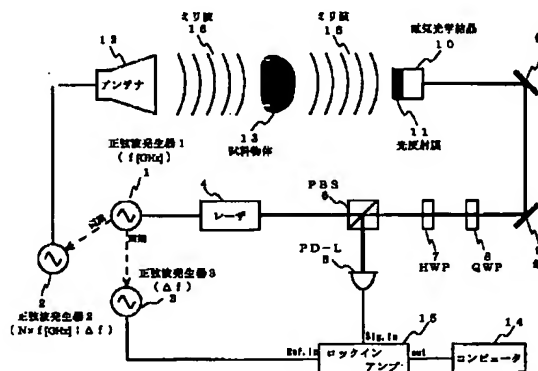
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ミリ波イメージングシステム

(57)【要約】

【課題】 生体試料などのミリ波の透過・反射率分布が物体を構成する各部分でほとんど一定である対象であっても、より細部まで認識可能なコントラストの高い像を得ることのできるミリ波イメージングシステムを提供する

【解決手段】 試料物体13を通過したミリ波16を電気光学結晶10で受信し、電気光学結晶10でレーザ4からのパルス光を電気光学効果により偏光変化する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の周波数の逆数の周期の第1のパルス光を出力するパルス光源と、

前記第1の周波数の自然数倍に前記第1の周波数と異なる第2の周波数を加えたミリ波帯周波数の正弦波電磁波を生成して測定対象の物体に放出する電磁波放出手段と、

この電磁波放出手段からの正弦波電磁波が前記物体を透過もしくは反射した結果得られた測定電磁波を受けて、この測定電磁波の電界変化に対応して前記パルス光源からの第1のパルス光を偏光変化して第2のパルス光とする光変調手段と、

この光変調手段からの第2のパルス光の偏光変化を強度変化に変換して第3のパルス光とする強度変換手段と、この強度変換手段からの第3のパルス光を前記第3のパルス光のパルス列の包絡線で示される電気信号に光電変換する光電変換手段と、

この光電変換手段からの電気信号と前記第2の周波数の参照正弦波との間の位相の差を検出するデータ抽出手段と、

このデータ抽出手段が検出した位相の差より前記物体の像を形成する画像検出手段とを備えたことを特徴とするミリ波イメージングシステム。

【請求項2】 第1の周波数の逆数の周期の第1のパルス光を出力するパルス光源と、

前記第1の周波数の自然数倍に前記第1の周波数と異なる第2の周波数を加えたミリ波帯周波数の正弦波電磁波を生成して測定対象の物体に放出する電磁波放出手段と、

この電磁波放出手段からの正弦波電磁波が前記物体を透過もしくは反射した結果得られた測定電磁波を受けて、この測定電磁波の電界変化に対応して前記パルス光源からの第1のパルス光を偏光変化して第2のパルス光とする光変調手段と、

この光変調手段からの第2のパルス光を前記光変調器の偏光変化により強度が減少した第1の偏光成分と、前記第1の偏光成分と偏光方向が90°異なる第2の偏光成分とに分離する偏光分離手段と、

この偏光分離手段で分離された第1の偏光成分を前記第1の偏光成分のパルス列の包絡線で示される第1の電気信号に変換する第1の光電変換手段と、

前記偏光分離手段で分離された第2の偏光成分を前記第2の偏光成分のパルス列の包絡線で示される第2の電気信号に変換する第2の光電変換手段と、

前記第1の光電変換手段が変換した第1の電気信号と前記第2の光電変換手段が変換した第2の電気信号を差動増幅して第3の電気信号とする増幅手段と、

この増幅手段からの第3の電気信号と前記第2の周波数の参照正弦波との間の位相の差を検出するデータ抽出手段と、

このデータ抽出手段が検出した位相の差より前記物体の像を形成する画像検出手段とを備えたことを特徴とするミリ波イメージングシステム。

【請求項3】 請求項1または2記載のミリ波イメージングシステムにおいて、

前記第1の周波数の第1の正弦波を生成する第1の正弦波発生器と、

前記第1の周波数の自然数倍に前記第2の周波数を加えたミリ波帯周波数の第2の正弦波を前記第1の正弦波発生器に同期して生成する第2の正弦波発生器と、

前記参照正弦波を前記第1の正弦波発生器に同期して生成する第3の正弦波発生器とを備え、

前記パルス光源は前記第1の正弦波を用いて前記第1の周波数のパルス光を出力し、

前記電磁波放出手段は前記第2の正弦波を用いて前記正弦波電磁波を生成することを特徴とするミリ波イメージングシステム。

【請求項4】 請求項1または2記載のミリ波イメージングシステムにおいて、

前記第1の周波数の第1の正弦波を生成する第1の正弦波発生器と、

前記第1の周波数の自然数倍に前記第2の周波数を加えたミリ波帯周波数の第2の正弦波を前記第1の正弦波発生器に同期して生成する第2の正弦波発生器と、

前記パルス光源からの第1のパルス光の一部を光電変換してパルス信号とする部分光電変換手段と、

この部分光電変換手段からのパルス信号と前記第2の正弦波発生器からの第1の正弦波とから前記第2の周期の参照正弦波を生成する参照正弦波生成手段とを備え、

前記パルス光源は前記第1の正弦波を用いて前記第1の周波数のパルス光を出力し、

前記電磁波放出手段は前記第2の正弦波を用いて前記正弦波電磁波を生成することを特徴とするミリ波イメージングシステム。

【請求項5】 請求項1から4のいずれか一項に記載のミリ波イメージングシステムにおいて、

前記第1および第2のパルス光は光ファイバで伝搬されることを特徴とするミリ波イメージングシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ミリ波帯の電磁波源を用いて光やX線では観察できない物体を可視化するイメージング方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年ミリ波によるイメージング技術の開発が盛んに行われている。ここで言うミリ波は、サブミリ波も含めた広い周波数帯(30GHz~30THz)を包含する。このミリ波によるイメージング技術の開発が始まった当初には、ミリ波の検出法としてダイポールアンテナなどで受けたミリ波をダイオードで検波する純電氣的な

手法が用いられていた。これについては、例えば文献1 (B.B.Hu and M.C.Nuss : "Imaging with terahertz waves" Optics Letters, Vol.20, No.16, 1995, p.1716) などに詳細が述べられている。このような純電氣的な検出法によるミリ波イメージングシステムでは、ダイポールアンテナの共振周波数で決まる特定の周波数帯のミリ波にのみ感度をもって検出できる。

【0003】一方、上記の純電氣的な検出方法ではなく、電気光学的な検出手段を用いたミリ波イメージングシステムも報告されている。この電気光学的な検出手段は、電気光学サンプリングと呼ばれるものである。電気光学サンプリングは、DCからTHz帯までの電磁波を周波数応答によって光学的に検出する方法である。電気光学サンプリングに関する詳細は、例えば文献2 (K.J. Weingarten et al : "Picosecond Optical Sampling of GaAs Integrated Circuits" IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.24, No.2, 1988, p.198) などに記されている。また、電気光学的な検出法を用いたミリ波イメージングシステムは、例えば文献3 (Q.Wu et al : "Two-dimensional electro-optic imaging of THz beams" Applied Physics Letters, Vol.69, No.8, 1996, p.1026) などで報告されている。

【0004】従来の電気光学的検出法を用いたイメージング装置について説明すると、図10に示すように、まず、レーザ4からパルス光を出射し、この出射したパルス光をビームスプリッタ33aで分岐する。ビームスプリッタ33aで分岐したパルス光のうち、直行する方向に分岐された分岐光は、鏡9a、鏡9bと光パルス遅延器34を通過してテラヘルツエミッタ35の受光部分に入射する。テラヘルツエミッタ35では、鏡9と光パルス遅延器34を通過した分岐光が受光部分に入射すると、このパルス状の分岐光が入射している間、ミリ波帯の周波数の電波をパルス状に放射する。テラヘルツエミッタ35よりパルス状に放射された電波は、ミリ波レンズ32により平行な状態のミリ波16に整形されて試料物体13を照射する。試料物体13を照射して透過したパルス状のミリ波16は、電気光学結晶10で受信され、電気光学結晶10に電界変化をパルス状に与える。

【0005】一方、レーザ4から出射されてビームスプリッタ33aを直進した分岐光は、鏡9cで進行方向を変更され、光学レンズ22を通過することで平行なレーザビーム38とされ、ビームスプリッタ33bで進行方向を変更されて電気光学結晶10に入射する。レーザビーム38が入射した電気光学結晶10では、前述したように、パルス状のミリ波16を受信していることにより電界変化が生じており、この電界変化により透過する光に偏光変化を与えている。電気光学結晶10を通過するレーザビーム38は、電気光学結晶10が受信しているパルス状のミリ波16の強度変化に対応して偏光される。

【0006】電気光学結晶10を透過して偏光されたレーザビームは、1/2波長板(HWP)7により偏光を受けた成分だけが透過される。HWP7を透過した偏光成分だけとされたレーザビーム38は、二次元的に受光素子が配列されたイメージセンサであるCCDアレイ36の受光面に到達する。そして、CCDアレイ36では、レーザビーム38の偏光変化を受けた成分の強度に対応した光学像が検出され、この検出された光学像がモニタ37に表示される。このイメージング装置では、光パルス遅延器34でテラヘルツエミッタ35に入射するパルス光の到達タイミングを変更し、電気光学結晶10に到達するパルス状のミリ波16の位相をずらすことで、電気光学結晶10に到達するミリ波16の波形を再現させるようにしている。

【0007】しかしながら、上記に説明した従来のイメージング装置では、試料物体に照射するミリ波が、パルス状であるため、試料物体を透過したミリ波の強度分布の状態しか検出できなかった。このように、従来のイメージング装置では、光やX線などを用いた従来の方法では観察できないものを可視化することはできるが、ミリ波の強度分布の状態しか検出できないため、ミリ波の透過率及び反射率分布がほとんど一定である物体の詳細を可視化することは困難であった。ミリ波を用いたイメージングの応用が期待されている主な試料として生体試料が挙げられるが、生体試料などの一般的な傾向として、生体試料を構成する各部分で、ミリ波の透過及び反射率分布はほとんど一定である場合が多い。このようなミリ波の透過及び反射率分布がほとんど一定である物体の場合、従来のミリ波を用いたイメージング装置では、物体を構成する要素が判別できるコントラストの高い像を得ることはできなかった。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、生体試料などのミリ波の透過・反射率分布が物体を構成する各部分でほとんど一定である対象であっても、より細部まで認識可能なコントラストの高い像を得ることのできるミリ波イメージングシステムを提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明のミリ波イメージングシステムは、第1の周波数の逆数の周期の第1のパルス光を出力するパルス光源と、第1の周波数の自然数倍に第1の周波数と異なる第2の周波数を加えたミリ波帯周波数の正弦波電磁波を生成して測定対象の物体に放出する電磁波放出手段と、この電磁波放出手段からの正弦波電磁波が物体を透過もしくは反射した結果得られた測定電磁波を受けて、この測定電磁波の電界変化に対応してパルス光源からの第1のパルス光を偏光変化して第2のパルス光とする光変調手段と、この光変調手段から

の第2のパルス光の偏光変化を強度変化に変換して第3のパルス光とする強度変換手段と、この強度変換手段からの第3のパルス光を第3のパルス光のパルス列の包絡線で示される電気信号に光電変換する光電変換手段と、この光電変換手段からの電気信号と第2の周波数の参照正弦波との間の位相の差を検出するデータ抽出手段と、このデータ抽出手段が検出した位相の差より物体の像を形成する画像検出手段とを備えるようにしたものである。この発明によれば、光変調手段で第1のパルス光を測定電磁波の電界変化に対応して偏光変化して第2のパルス光とし、強度変換手段で第2のパルス光を強度変化に変換した第3のパルス光とし、この第3のパルス光のパルス列の包絡線で示される電気信号を光電変換手段で得るようにしたので、光電変換手段で得られた電気信号は、測定電磁波の周波数を第2の周波数に変換したものに等しくなる。

【0010】また、この発明のミリ波イメージングシステムでは、第1の周波数の逆数の周期の第1のパルス光を出力するパルス光源と、第1の周波数の自然数倍に第1の周波数と異なる第2の周波数を加えたミリ波帯周波数の正弦波電磁波を生成して測定対象の物体に放出する電磁波放出手段と、この電磁波放出手段からの正弦波電磁波が物体を透過もしくは反射した結果得られた測定電磁波を受けて、この測定電磁波の電界変化に対応してパルス光源からの第1のパルス光を偏光変化して第2のパルス光とする光変調手段と、この光変調手段からの第2のパルス光を光変調器の偏光変化により強度が減少した第1の偏光成分と、第1の偏光成分と偏光方向が 90° 異なる第2の偏光成分とに分離する偏光分離手段と、この偏光分離手段で分離された第1の偏光成分を第1の偏光成分のパルス列の包絡線で示される第1の電気信号に変換する第1の光電変換手段と、偏光分離手段で分離された第2の偏光成分を第2の偏光成分のパルス列の包絡線で示される第2の電気信号に変換する第2の光電変換手段と、第1の光電変換手段が変換した第1の電気信号と第2の光電変換手段が変換した第2の電気信号を差動増幅して第3の電気信号とする増幅手段と、この増幅手段からの第3の電気信号と第2の周波数の参照正弦波との間の位相の差を検出するデータ抽出手段と、このデータ抽出手段が検出した位相の差より物体の像を形成する画像検出手段とを備えるようにしたものである。この発明によれば、第2のパルス光の第1の偏光成分と第1の偏光成分と偏光方向が 90° 異なる第2の偏光成分とを、それぞれ第1の光電変換手段と第2の光電変換手段とで第1と第2の電気信号に変換し、増幅手段で第1の電気信号と第2の電気信号を差動増幅して第3の電気信号としたので、この第3の電気信号は、測定電磁波の周波数を第2の周波数に変換したものに等しくなる。

【0011】また、この発明は、第1の周波数の逆数の周波数の第1の正弦波を生成する第1の正弦波発生器

と、第1の周波数の自然数倍に第2の周波数を加えたミリ波帯周波数の第2の正弦波を第1の正弦波発生器に同期して生成する第2の正弦波発生器と、参照正弦波を第1の正弦波発生器に同期して生成する第3の正弦波発生器とを備え、パルス光源は第1の正弦波を用いて第1の周波数のパルス光を出力し、電磁波放出手段は第2の正弦波を用いて正弦波電磁波を生成するようにしたものである。また、この発明は、第1の周波数の第1の正弦波を生成する第1の正弦波発生器と、第1の周波数の自然数倍に第2の周波数を加えたミリ波帯周波数の第2の正弦波を第1の正弦波発生器に同期して生成する第2の正弦波発生器と、パルス光源からの第1のパルス光の一部を光電変換してパルス信号とする部分光電変換手段と、この部分光電変換手段からのパルス信号と第2の正弦波発生器からの第1の正弦波とから第2の周期の参照正弦波を生成する参照正弦波生成手段とを備え、パルス光源は第1の正弦波を用いて第1の周波数のパルス光を出力し、電磁波放出手段は第2の正弦波を用いて正弦波電磁波を生成するようにしたものである。また、第1および第2のパルス光は、光ファイバで伝搬される。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図面を参照して説明する。

実施の形態1

はじめに、この発明の第1の実施の形態について説明する。実施の形態1のミリ波イメージングシステムは、まず、基準となる周波数 f 、例えば1GHzの正弦波を発生する第1の正弦波発生器1を備える。また、第1の正弦波発生器1が発生する正弦波の周波数 f の自然数倍、例えば60倍の周波数に、所定の周波数差 Δf 、例えば64kHzを加えたミリ波帯の周波数(60.000064GHz)の正弦波を発生する第2の正弦波発生器2を備える。また、周波数差 Δf (ここでは64kHz)の周波数の正弦波を参照信号として発生する第3の正弦波発生器3とを備える。なお、周波数差 Δf は1~100(kHz)程度とすればよい。

【0013】また、図1のミリ波イメージングシステムは、第1の正弦波発生器1が発生した正弦波の周波数(第1の周波数)の逆数の周期のパルス光を出力するレーザ4と、入力した光信号に対する応答が遅いフォトダイオード(PD-L)5と、レーザ4から出射されたパルス光のうち一方の偏光は透過し、透過する偏光に直交する他方の偏光は光路を直角方向に変更させる変更ビームスプリッタ(PBS)6と、 $1/2$ 波長板(HWP)7と、 $1/4$ 波長板(QWP)8とを備える。

【0014】また、図1のミリ波イメージングシステムは、レーザ4より出射されたパルス光を反射してパルス光の進行方向を変更するミラー9と、ミラー9で進行方向を変更されたパルス光を入射する電気光学結晶10とを備える。この電気光学結晶10は、パルス光を入射す

る入射端面に対抗する面に光反射膜11を備え、入射端面より入射したパルス光を光反射膜11で反射させて入射端面より出射させる。

【0015】また、図1のミリ波イメージングシステムは、上記の第1の正弦波発生器2が発生する正弦波の周波数の電波（ミリ波16）を放出するアンテナ12と、上記のPD-L5から出力される電気信号の強度変化の検出と、PD-L5から出力される電気信号と上記の第3の正弦波発生器3が発生した参照信号との位相のズレの抽出を行うロックインアンプ15と、ロックインアンプ15で検出した電気信号の強度変化や参照信号との位相のズレを用いて、試料物体13のミリ波像を形成するコンピュータ14とを備える。

【0016】以下、図1に示した実施の形態1におけるのミリ波イメージングシステムの動作について説明する。実施の形態1のミリ波イメージングシステムでは、まず、アンテナ12より放出されたミリ波16が、試料物体13を通過して電気光学結晶10に受信される。アンテナ12より放出されたミリ波16が試料物体13を通過するとき、減衰するだけでなく、試料物体13の誘電率分布に依存して異なる位相変化を受ける。図2に示すように、試料物体13の誘電率が大きい領域を通過したミリ波16は、試料物体13の誘電率が小さい領域を通過したミリ波16に対して位相差 $\Delta\phi$ が発生する。以降に説明するように、この実施の形態1のミリ波イメージングシステムは、上記の位相差 $\Delta\phi$ を検出することで試料物体13の誘電率の分布を可視化する。

【0017】一方、レーザ4を出射したパルス光は、PBS6を通過することで第1の偏光成分が取り出され、HWP7とQWP8を通過し、鏡9を反射して電気光学結晶10に入射する。電気光学結晶10に入射したパルス光の第1の偏光成分は、光学反射膜11を反射して結晶内を逆行して電気光学結晶10から出射する。この電気光学結晶10内をパルス光が通過しているとき、電気光学結晶10が試料物体13を通過してきたミリ波16を受信することで発生した電界（瞬時電界）に応じて、パルス光は偏光変化を受ける。この偏光変化を受けると、電気光学結晶10を出射するパルス光には、第1の偏光成分に直交する第2の偏光成分が発生する。電気光学結晶10を出射した第2の偏光成分が発生しているパルス光は、鏡9を反射してHWP7とQWP8を通過し、PBS6に入射する。

【0018】電気光学結晶10を出射したパルス光がPBS6に入射すると、パルス光の第1の偏光成分は直進し、パルス光の第2の偏光成分は進行方向を 90° 変更されてPD-L5の受光部に入射する。したがって、PD-L5の受光部に入射するパルス光は、電気光学結晶10で偏光変化を受けることで発生した偏光成分だけとなる。このように、電気光学結晶10を出射したパルス光より、偏光変化を受けたことで発生した偏光成分を取

り出すことで、パルス光の偏光変化をパルス光の強度変化に変換する。なお、HWP7とQWP8を調整することで、HWP7とQWP8を通過する偏光変化を受けたパルス光の偏光変化量を、電気光学結晶10が試料物体13を通過してきたミリ波16を受信することで発生した電界強度（瞬時電界振幅）に比例させることができる。

【0019】ここで、PD-L5に入射するパルス光のパルス列を時系列でみた状態を考察する。図3(a)に示すように、試料物体13を通過したミリ波16が電気光学結晶10を通過したときに発生した電界の波形は、 60.00064GHz の正弦波である。一方、電気光学結晶10に入射するパルス光の波形は、図3(b)に示すように、繰り返し周波数が 1GHz のパルス列である。そして、電気光学結晶10で偏光変化を受け、この偏光変化が強度変化に変換されたPD-L5に入射するパルス光は、図3(c)に示すようなパルス列となる。

【0020】繰り返し周波数が 1GHz （基準となる周波数 f ）のパルス光は、 1GHz の整数倍の成分を含んだものとなっているため、電気光学結晶10に入射するパルス光には 60GHz の成分も含まれた状態となっている。 60GHz の成分も含まれたパルス光が、電気光学結晶10において 60.00064GHz のミリ波16による偏光変化を受けると、この偏光変化にはミリ波16の周波数とパルス光の周波数とによる 64kHz すなわち周波数差 Δf の周波数のビートが発生することになる。したがって、図3(c)に示したPD-L5に入射するパルス光の強度変化には、周波数差 Δf の周波数のビートが発生している。

【0021】図3(c)のパルス列に発生しているビートは、このパルス列の包絡線で示される正弦波として取り出せるが、PD-L5では、光信号に対する応答が遅く、入射したパルス光の包絡線を取り出すように光電変換するので、PD-L5の光電変換により、図3(c)のパルス列に発生しているビートを、図3(d)に示すような正弦波の電気信号として取り出せる。加えて、PD-L5の光電変換により取り出した電気信号は、試料物体13を通過してきたミリ波16を周波数差 Δf の周波数にダウンコンバートしたのようになっており、ミリ波16に試料物体13を通過することで発生した位相差 $\Delta\phi$ を有している。

【0022】したがって、PD-L5の光電変換により取り出した位相差 $\Delta\phi$ を有している電気信号を、 64kHz すなわち周波数差 Δf の周波数の正弦波の基準となる電気信号と比較することで、位相差 $\Delta\phi$ を取り出すことができる。この実施の形態1では、PD-L5で光電変換された電気信号を、ロックインアンプ15に入力して第3の正弦波発生器3より得られた周波数差 Δf の周波数の参照信号と比較し、PD-L5で光電変換された電気信号より位相差 $\Delta\phi$ を取り出す。そして、ロックイン

アンプ15で取り出した位相差 $\Delta\phi$ は、コンピュータ14で処理されて試料物体13のミリ波位相分布画像のデータとして用いられる。なお、ロックインアンプ15では、PD-L5で光電変換された電気信号より強度も取り出す。ロックインアンプ15で取り出した電気信号の強度は、コンピュータ14で処理されて試料物体13のミリ波強度分布画像のデータとして用いられる。

【0023】なお、第1の正弦波発生器1、第2の正弦波発生器2、第3の正弦波発生器3それぞれが、正確に所定の周波数の正弦波を生成できるものとは限らない。例えば、第1の正弦波発生器1より、ドリフトなどにより1GHzより若干ずれた周波数の正弦波が生成される場合がある。ここで、第1の正弦波発生器1と第2の正弦波発生器2と第3の正弦波発生器3とを同期させておけば、第2の正弦波発生器2で発生するミリ波帯の周波数を作製するための周波数差 Δf の周波数と、第3の正弦波発生器3で発生する周波数差 Δf の周波数の参照信号とが同じものとなる。なお、上記の周波数差 Δf は相対的なものであり、上記の第2の正弦波発生器2では、基準となる周波数 f の自然数倍の周波数に周波数差 Δf を加えてミリ波帯の周波数を生成していたが、基準となる周波数 f の自然数倍の周波数のミリ波帯の周波数のミリ波を用い、一方で、レーザより周波数 f より周波数差 Δf を減じた周波数の逆数の周期のパルス光を出射するようにしてもよい。

【0024】実施形態2

次に、この発明の第2の実施の形態について説明する。この実施の形態2のミリ波イメージングシステムは、実施例1のイメージング装置で用いた第3の正弦波発生器3の代わりに、図4に示すビームスプリッタ33とフォトダイオード21とミキサ19とバンドパスフィルタ20とを用いるようにした。なお、実施の形態2のミリ波イメージングシステムのビームスプリッタ33とフォトダイオード21とミキサ19とバンドパスフィルタ20以外の構成は、上記実施の形態1のイメージング装置と同一である。

【0025】まず、ビームスプリッタ33は、レーザ4が出力したパルス光の一部を分岐して取り出す。また、フォトダイオード(PD-H)21は、ビームスプリッタ33分岐されたパルス光列を光電変換する。このPD-H21は、光信号に対する応答が早く、パルス光を電気的な光パルス信号に光電変換する。また、ミキサ19は、まず、PD-H21で光電変換されたパルスの繰返し周波数 f の光パルス信号LOと、第2の正弦波発生器2で生成されたミリ波帯の周波数($N \times f + \Delta f$)のミリ波信号RFとを入力し、これら光パルス信号LOとミリ波信号RFとにより、 $\Delta f, f + \Delta f, 2f + \Delta f, \dots$ などの周波数成分を含む合成信号IFを出力する。そして、バンドパスフィルタ20は、急峻なバンドパス特性を備え、ミキサ19から出力されたIF信号より周波数差 Δ

f の成分を取り出す。

【0026】実施の形態2のミリ波イメージングシステムでは、バンドパスフィルタ20で取り出した正弦波を、上記の実施の形態1のミリ波イメージングシステムと同様に、周波数差 Δf の周波数の参照信号としてロックインアンプ15で使用する。したがって、この実施の形態2のミリ波イメージングシステムでも、ロックインアンプ15で、PD-L5で光電変換された電気信号より位相差 $\Delta\phi$ を取り出し、取り出した位相差 $\Delta\phi$ をコンピュータ14で処理して試料物体13のミリ波偏光分布画像のデータとして用いる。

【0027】実施の形態2のミリ波イメージングシステムと実施の形態1のミリ波イメージングシステムとを比較すると、実施の形態1のミリ波イメージングシステムでは、第1～第3の正弦波発生器1～3を用いてそれらの全てを同期させている。しかし、3台の正弦波発生器を高い精度で同期させるのは困難である。これに対し、この実施の形態2のミリ波イメージングシステムでは、2つの正弦波発生器を同期させればよいので、3つの正弦波発生器を同期させる場合に比較して、より安定な同期を得ることができる。

【0028】第3実施形態

次に、この発明の第3の実施の形態について説明する。実施の形態3のミリ波イメージングシステムは、図6に示すように、まず、基準となる周波数 f 、例えば1GHzの正弦波を発生する第1の正弦波発生器1を備える。また、第1の正弦波発生器1が発生する正弦波の周波数 f の自然数倍周波数に、所定の周波数差 Δf を加えたミリ波帯の周波数の正弦波を発生する第2の正弦波発生器2を備える。また、の周波数差 Δf の周波数の正弦波を参照信号として発生する第3の正弦波発生器3とを備える。これら第1～第3の正弦波発生器1～3は、の実施の形態1と同様である。

【0029】また、この実施の形態3のミリ波イメージングシステムは、第1の正弦波発生器1が発生した正弦波の周波数(第1の周波数)の逆数の周期のパルス光のうちP偏光成分を出力するレーザ4aと、レーザ4aより出射されたパルス光を入射する電気光学結晶10を備える。なお、以降では、光の偏光成分のうち一方をP偏光とし、このP偏光に直交する偏光成分をS偏光とする。上記の電気光学結晶10は、パルス光を入射する入射端面に対抗する面に光反射膜11を備え、入射端面より入射したパルス光を光反射膜11で反射させて入射端面より出射させる。また、この実施の形態3のミリ波イメージングシステムは、電気光学結晶10から出射したパルス光の電気光学結晶10で受けた偏光変化に対応する周波数の電気信号を生成する偏光検出部26を備える。

【0030】また、図6のミリ波イメージングシステムは、上記のPD-L5から出力される電気信号の強度変

化の検出およびこの電気信号と上記の第3の正弦波発生器3が発生した参照信号との位相のズレの抽出を行うロックインアンプ15と、ロックインアンプ15で検出した電気信号の強度変化や参照信号との位相のズレなどのデータを用いて試料物体13のミリ波像を形成するコンピュータ14を備える。また、図6のミリ波イメージングシステムは、上記の第1の正弦波発生器2が発生する正弦波の周波数のミリ波を放出するアンテナ12と、アンテナ12より放出されたミリ波を回折限界まで絞るミリ波レンズ32aと、回折限界まで絞られてから試料物体13を透過して拡散したミリ波を回折限界にまで絞るミリ波レンズ32bと、上記のコンピュータ14に制御されて試料物体13を動かす電動ステージ31を備える。

【0031】上記のレーザ4aから出射したP偏光のパルス光は、光ファイバ30aを介して偏光検出部26に入射し、偏光検出部26に入射したパルス光の一部が光ファイバ30bを介して電気光学結晶10に入射する。上記のロックインアンプ15が出力するデータは、パラレルインタフェースであるGPIBでコンピュータ14に入力され、また、上記の電動ステージ30の動作は、コンピュータ14よりGPIBを介して送信される動作コマンドにより制御される。

【0032】次に、この実施の形態3のミリ波イメージングシステムの動作に関して説明する。まず、アンテナ12より放出されたミリ波が、ミリ波レンズ32aで回折限界まで絞られてから試料物体13を通過し、試料物体13を通過して拡散したミリ波がミリ波レンズ32bで回折限界まで絞られて電気光学結晶10に受信される。一方、レーザ4aを出射したパルス光は、光ファイバ30aを介して偏光検出部26を通過することで、第1の偏光成分が取り出され、光ファイバ30bを介して電気光学結晶10に入射する。電気光学結晶10に入射したパルス光の第1の偏光成分は、光学反射膜11を反射して結晶内を逆行して電気光学結晶10から出射する。

【0033】電気光学結晶10内をパルス光が通過しているとき、電気光学結晶10が試料物体13を通過してきたミリ波16を受信することで発生した電界（瞬時電界）に応じて、パルス光は偏光変化を受ける。この偏光変化を受けると、電気光学結晶10を出射するパルス光には、第1の偏光成分に直交する第2の偏光成分が発生する。電気光学結晶10を出射した第2の偏光成分が発生しているパルス光は、光ファイバ30bを介して偏光検出部26に入射する。電気光学結晶10を出射した光パルスを入射した偏光検出部26は、試料物体13を通過してきたミリ波16を周波数差 Δf の周波数にダウンコンバートした電気信号を出力する。

【0034】この偏光検出部26について、図7を用いてより詳細に説明する。図7に示すように、偏光検出部

26は、まず、光ファイバ30aを介して入射したレーザ4aからのP偏光のパルス光を、光学レンズ22aで平行光にコリメートしてから、S偏光ビームスプリッタ（PBS-S）23を通過させる。PBS-S23はS偏光を分岐させるので、PBS-S23に入射したレーザ4aからのP偏光のパルス光はすべてが直進する。次に、偏光検出部26は、PBS-S23を直進したパルス光を、ファラデー回転子（FR）25を通過させることで、偏光方向を 45° 回転させ、かつ $1/2$ 波長板（HWP）7を通過させることでまた 45° 回転させる。この結果、HWP7を通過したレーザ4aからのパルス光はS偏光となる。

【0035】次に、偏光検出部26は、HWP7を通してS偏光となったパルス光を、入射した光の中でP偏光を分岐させるP偏光ビームスプリッタ（PBS-P）24に入させる。HWP7を通過したパルス光はS偏光となっているので、PBS-P24を直進する。PBS-P24を通過したS偏光のパルス光は、光学レンズ22bで集光され、光ファイバ30bに入射する。光ファイバ30bに入射したS偏光のパルス光は、電気光学結晶10に入射し、電気光学結晶10が受信したミリ波で発生した電界により偏光変化を受け、電気光学結晶10を出射して光ファイバ30bを介して再び偏光検出部26に入射する。

【0036】電気光学結晶10で偏光変化を受けて偏光検出部26に入射したパルス光は、偏光変化を受けたことにより、S偏光成分が減少してこの減少した量に等しいP偏光成分が発生している。この電気光学結晶10で偏光変化を受けてS偏光とP偏光が重なったパルス光がPBS-P24に入射すると、パルス光の2つの偏光成分のうちP偏光が分岐されて進行方向を変えられてPD-P28に入射する。また電気光学結晶10で偏光変化を受けてPBS-P24に入射するパルス光の偏光成分のうち、S偏光はPBS-P24で分岐されずに直進する。

【0037】電気光学結晶10より出射してPBS-P24を直進したS偏光のパルス光は、HWP7で偏光方向が 45° 回転され、FR25で偏光方向が -45° 回転され、S偏光のままPBS-S24に入射する。このS偏光のままPBS-S24に入射した光パルスは、PBS-S24で分岐されて進行方向を変えられてPD-S28に入射する。したがって、電気光学結晶10で偏光変化を受けてたパルス光は、偏光検出部26において、偏光変化を受けて発生したP偏光がPD-P28で光電変換され、偏光変化を受けて減少したS偏光がPD-S27で光電変換される。

【0038】PD-S27とPD-P28では、実施の形態1のミリ波イメージングシステムのPD-L5（図1）による光電変換と同様に、入射したパルス光をこのパルス光列の包絡線で示される正弦波の電気信号にとし

て光電変換する。そして、PD-S27で光電変換された正弦波の電気信号と、PD-P28で光電変換された正弦波の電気信号は、差動アンプ29で差動増幅され、ロックインアンプ15に入力する。

【0039】ここで、まず、PD-S27で光電変換された電気信号は、電気光学結晶10で偏光変化を受けて減少したS偏光の減少に対応する信号である。一方、PD-P28で光電変換された電気信号は、電気光学結晶10で偏光変化を受けて発生増加したP偏光の増加に対応する信号である。したがって、PD-S27で光電変換された電気信号と、PD-P28で光電変換された電気信号とは、逆相で変化しているため、差動アンプ29で差動増幅された電気信号は信号成分が増幅された状態となっている。

【0040】この信号成分の増幅は、図8に示すように、実施の形態1のミリ波イメージングシステムのようにPD-L51つで光電変換した電気信号に比較して2倍になる。図6は、差動アンプ29で出力された電気信号をスペクトルアナライザで測定した結果であり、64kHzに検出されるピークは、「差動検出OFF」のスペクトルに比較して、「差動検出ON」のスペクトルの方が2倍となっている。PD-S27に入射するパルス光とPD-P28に入射するパルス光の光強度雑音は逆相となっていないので、差動アンプ29で差動増幅された電気信号は、レーザ4aからのレーザ強度雑音などが大幅に低減されている。この雑音の低減も、図8から明かであり、64kHz以外の周波数のピークが、「差動検出OFF」のスペクトルに比較して「差動検出ON」のスペクトルの方が小さい。

【0041】以上のことにより、差動アンプ29から出力された電気信号は、実施の形態1で説明したように、試料物体13を通過してきたミリ波を周波数差 Δf の周波数にダウンコンバートした、試料物体13を通過することで発生した位相差 $\Delta\phi$ を有している。そして、ロックインアンプ15は、差動アンプ29から出力された位相差 $\Delta\phi$ を有している電気信号を、第3の正弦波発生器3より得た周波数差 Δf の周波数の正弦波の電気信号と比較することで、差動アンプ29から出力された電気信号より位相差 $\Delta\phi$ を取り出し、この位相差 $\Delta\phi$ のデータをコンピュータ14に送る。

【0042】この実施の形態3のミリ波イメージングシステムでは、電動ステージ31で、試料物体13を二次元的に移動させている。例えば、試料物体13は、アンテナ12のミリ波放出部と電気光学結晶10とを結ぶ線を法線とする平面で移動する。一方、ロックインアンプ15よりコンピュータ14に送られるデータは、ミリ波レンズ32aで回折限界まで絞られたミリ波が、試料物体13を透過して光学結晶10で受信されることで得られたものである。つまり、ロックインアンプ15よりコンピュータ14に送られるデータは、試料物体13の移

動にあわせ、かつ、試料物体13のミリ波透過領域の状態に対応して変化している。

【0043】コンピュータ14は、電動ステージ31を制御して第1の位置まで移動させ、この電動ステージ31の位置で固定された試料物体13上の一点を通過したミリ波の強度と位相に関するデータを、ロックインアンプ15より受け取り第1のデータとして保持する。第1のデータを保持したコンピュータ14は、電動ステージ31を制御して第1の位置より所定距離離れた第2の位置まで移動させ、この電動ステージ31の位置で固定された試料物体13上の一点を通過したミリ波の強度と位相に関するデータを、ロックインアンプ15より受け取り第2のデータとして保持する。

【0044】第2のデータを保持したコンピュータ14は、電動ステージ31を制御して第2の位置より所定距離離れた第3の位置まで移動させ、この電動ステージ31の位置で固定された試料物体13上の一点を通過したミリ波の強度と位相に関するデータを、ロックインアンプ15より受け取り第3のデータとして保持する。引き続き、コンピュータ14は、第4の位置で第4のデータを取得保持し、第5の位置で第5のデータを取得保持し、これら動作を第nの位置で第nのデータを取得するまで繰り返す。そして、コンピュータ14は、保持した第1のデータから第nのデータを、第1の位置から第nの位置までで形成される平面に対応させて組み合わせ、試料物体13のミリ波偏光分布画像およびミリ波胸部分布画像を形成する。

【0045】図9は、この実施の形態3のミリ波イメージングシステムで得た試料物体のミリ波強度分布画像(a)とミリ波偏光分布画像(b)とを示すコンピュータ画像(2×2mm/pixel)である。なお、試料物体に照射したミリ波の周波数は、60.000064MHzとした。試料物体は、厚い紙の間に挟まれた木の葉である。木の葉を挟んだ紙は十分に厚いので、人間の目では隠された葉を見ることはできない。一方、上記の60.000064MHzのミリ波は紙を透過する。しかし、このミリ波は、水分を含んだ木の葉によって減衰を受けるので、木の葉の存在がミリ波の影としてはっきり認識できる。

【0046】ところが、ミリ波強度分布画像(a)では木の葉の葉脈などの形状は認識できない。これに対し、ミリ波偏光分布画像(b)では、木の葉の葉脈も認識できる。この図9(a)と図9(b)の比較から明らかのように、従来のミリ波イメージングシステムでは観察できなかったものが、この発明のミリ波イメージングシステムでは観察可能になる。なお、上記の実施の形態1～3では、試料物体を透過したミリ波を電気光学結晶で受信する構成としたが、試料物体を反射するミリ波を電気光学結晶で受信する構成としてもよい。

【0047】

【発明の効果】以上説明したように、この発明では、第1の周波数の逆数の周期の第1のパルス光を出力するパルス光源と、第1の周波数の自然数倍に第1の周波数と異なる第2の周波数を加えたミリ波帯周波数の正弦波電磁波を生成して測定対象の物体に放出する電磁波放出手段と、この電磁波放出手段からの正弦波電磁波が物体を透過もしくは反射した結果得られた測定電磁波を受けて、この測定電磁波の電界変化に対応してパルス光源からの第1のパルス光を偏光変化して第2のパルス光とする光変調手段と、この光変調手段からの第2のパルス光の偏光変化を強度変化に変換して第3のパルス光とする強度変換手段と、この強度変換手段からの第3のパルス光を第3のパルス光のパルス列の包絡線で示される電気信号に光電変換する光電変換手段と、この光電変換手段からの電気信号と第2の周波数の参照正弦波との間の位相の差を検出するデータ抽出手段と、このデータ抽出手段が検出した位相の差より物体の像を形成する画像検出手段とを備えるようにした。

【0048】したがって、この発明によれば、光変調手段で第1のパルス光を測定電磁波の電界変化に対応して偏光変化して第2のパルス光とし、強度変換手段で第2のパルス光を強度変化に変換した第3のパルス光とし、この第3のパルス光のパルス列の包絡線で示される電気信号を光電変換手段で得るようにしたので、光電変換手段で得られた電気信号は、測定電磁波の周波数を第2の周波数に変換したものに等しくなる。つまり、データ抽出手段で得られる、光電変換手段で得られた電気信号と第2の周波数の参照正弦波との間の位相の差は、測定電磁波が測定対象の物体の誘電率分布により受けた位相変化に対応する。この結果、この発明によれば、測定対象の物体の誘電率分布を可視化できるので、生体試料などのミリ波の透過・反射率分布が物体を構成する各部分でほとんど一定である対象であっても、より細部まで認識可能なコントラストの高い像を得ることのようになる。

【0049】また、この発明では、第1の周波数の逆数の周期の第1のパルス光を出力するパルス光源と、第1の周波数の自然数倍に第1の周波数と異なる第2の周波数を加えたミリ波帯周波数の正弦波電磁波を生成して測定対象の物体に放出する電磁波放出手段と、この電磁波放出手段からの正弦波電磁波が物体を透過もしくは反射した結果得られた測定電磁波を受けて、この測定電磁波の電界変化に対応してパルス光源からの第1のパルス光を偏光変化して第2のパルス光とする光変調手段と、この光変調手段からの第2のパルス光を光変調器の偏光変化により強度が減少した第1の偏光成分と、第1の偏光成分と偏光方向が90°異なる第2の偏光成分とに分離する偏光分離手段と、この偏光分離手段で分離された第1の偏光成分を第1の偏光成分のパルス列の包絡線で示される第1の電気信号に変換する第1の光電変換手段

と、偏光分離手段で分離された第2の偏光成分を第2の偏光成分のパルス列の包絡線で示される第2の電気信号に変換する第2の光電変換手段と、第1の光電変換手段が変換した第1の電気信号と第2の光電変換手段が変換した第2の電気信号を差動増幅して第3の電気信号とする増幅手段と、この増幅手段からの第3の電気信号と第2の周波数の参照正弦波との間の位相の差を検出するデータ抽出手段と、このデータ抽出手段が検出した位相の差より物体の像を形成する画像検出手段とを備えるようにした。

【0050】したがって、この発明によれば、第2のパルス光の第1の偏光成分と第1の偏光成分と偏光方向が90°異なる第2の偏光成分とを、それぞれ第1の光電変換手段と第2の光電変換手段とで第1と第2の電気信号に変換し、増幅手段で第1の電気信号と第2の電気信号を差動増幅して第3の電気信号としたので、この第3の電気信号は、測定電磁波の周波数を第2の周波数に変換したものに等しくなる。つまり、データ抽出手段で得られる、光電変換手段で得られた第3の電気信号と第2の周波数の参照正弦波との間の位相の差は、測定電磁波が測定対象の物体の誘電率分布により受けた位相変化に対応する。この結果、この発明によれば、測定対象の物体の誘電率分布を可視化できるので、生体試料などのミリ波の透過・反射率分布が物体を構成する各部分でほとんど一定である対象であっても、より細部まで認識可能なコントラストの高い像を得ることのようになる。また、第3の電気信号は、測定電磁波が測定対象の物体の誘電率分布により受けた位相変化に対応する信号成分が増幅され、この信号成分以外の雑音が低減される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態におけるミリ波イメージングシステムの構成を示す構成図である。

【図2】 試料物体の誘電率分布によりミリ波に発生する位相差を示す説明図である。

【図3】 図1のミリ波イメージングシステムにおける、ミリ波とパルス光の変化とPD-L5から出力される電気信号を示す説明図である。

【図4】 本発明の第2の実施の形態におけるミリ波イメージングシステムの構成を示す構成図である。

【図5】 図4のミキサ18とバンドパスフィルタ19を示す構成図である。

【図6】 本発明の第3の実施の形態におけるミリ波イメージングシステムの構成を示す構成図である。

【図7】 図6の偏光検出部26の構成を示す構成図である。

【図8】 図6の差動アンプ29の出力信号をスペクトルアナライザで測定した結果を示す特性図である。

【図9】 実施の形態3のミリ波イメージングシステムで検出した木の葉のコンピュータ画像である。

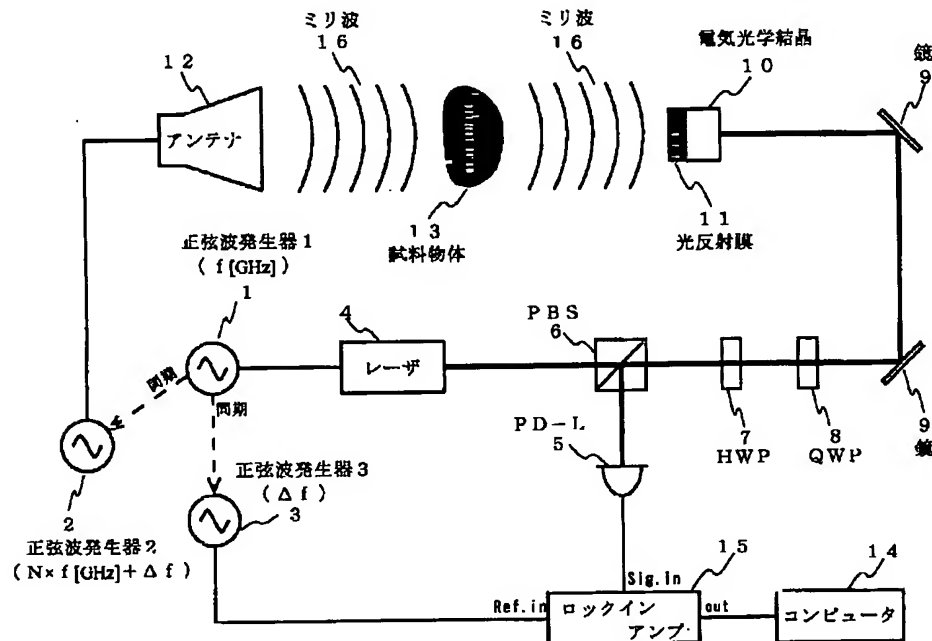
【図10】 従来のミリ波イメージングシステムの構成を示す図である。

【符号の説明】

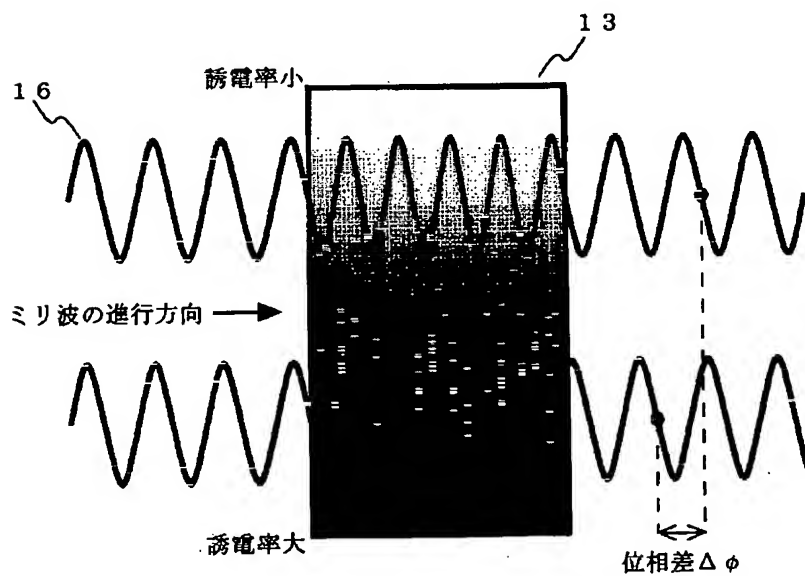
1…第1の正弦波発生器、2…第2の正弦波発生器、3…第3の正弦波発生器、4…レーザ、5…フォトダイオード(PD-L)、6…偏光ビームスプリッタ(PBS)、7…1/2波長板(HWP)、8…1/4波長板(QWP)、9…鏡、10…電気光学結晶、11…光反射膜、12…アンテナ、13…試料物体、14…コンピュータ、15…ロックインアンプ、16…ミリ波。

イオード(PD-L)、6…偏光ビームスプリッタ(PBS)、7…1/2波長板(HWP)、8…1/4波長板(QWP)、9…鏡、10…電気光学結晶、11…光反射膜、12…アンテナ、13…試料物体、14…コンピュータ、15…ロックインアンプ、16…ミリ波。

【図1】



【図2】



【図3】

(a) 電気光学結晶中を伝播するミリ波電界の波形



(b) 電気光学結晶中を伝播する光パルス強度の波形



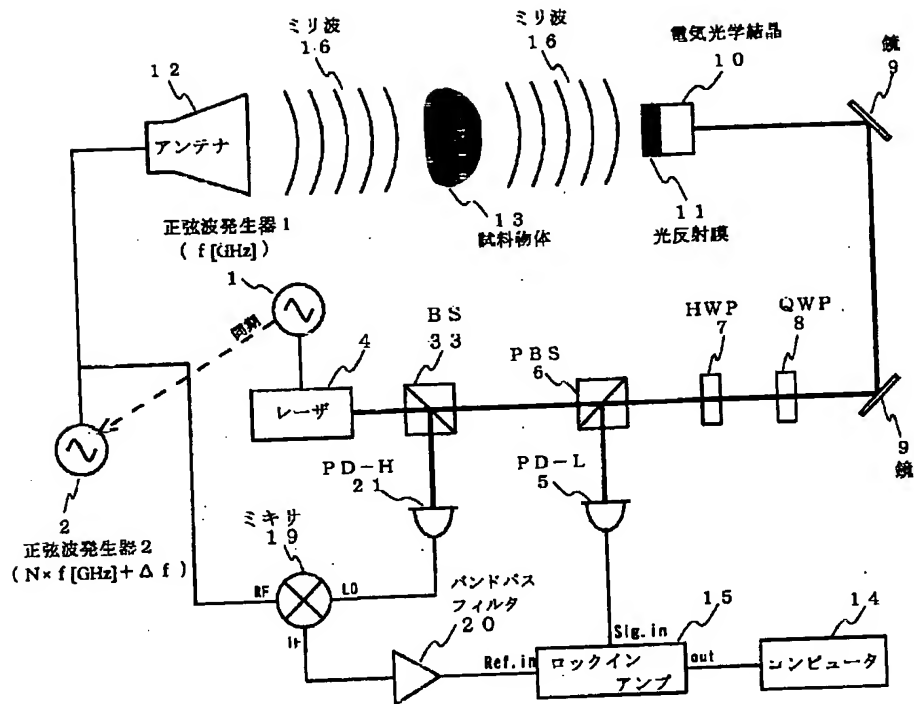
(c) 低速フォトダイオードに入射する直前の光パルス強度の波形



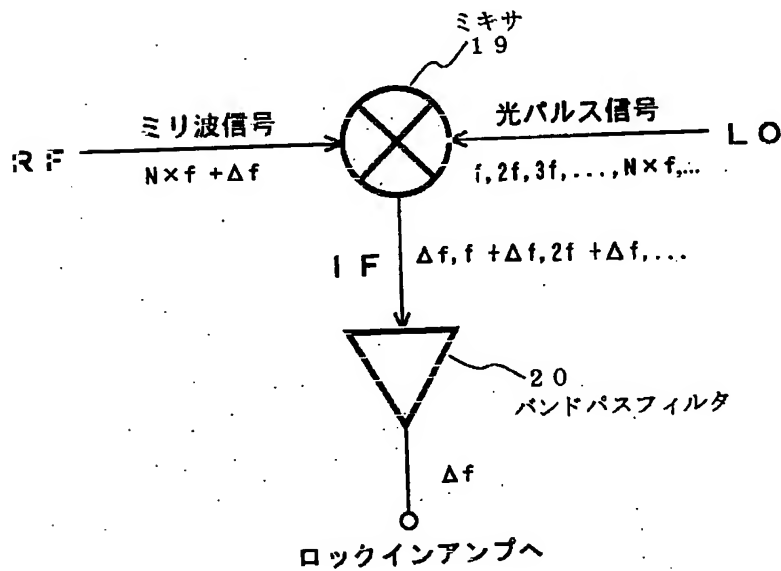
(d) 低速フォトダイオードの出力信号の波形 ((c)の包絡線)



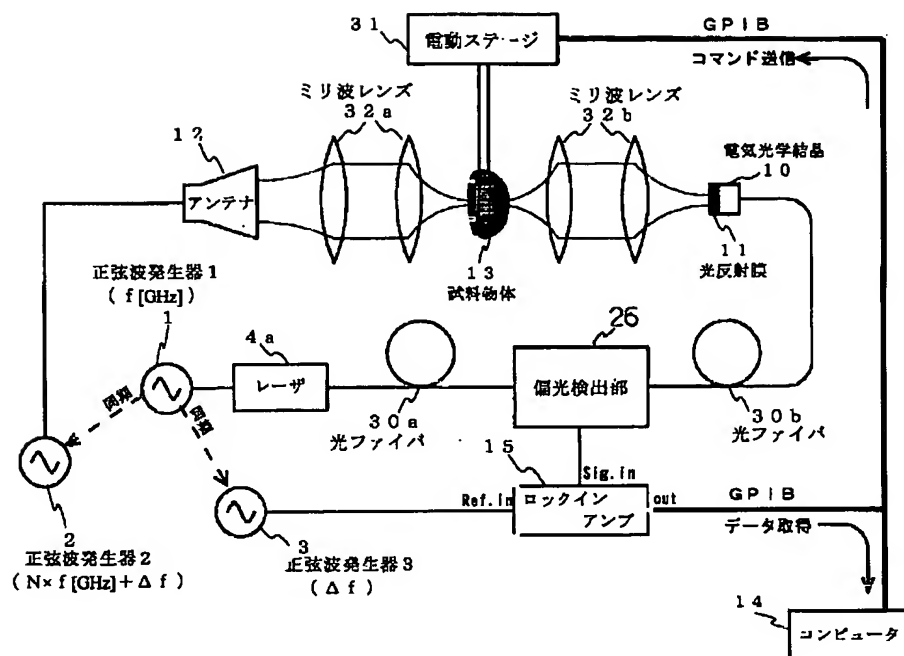
【図4】



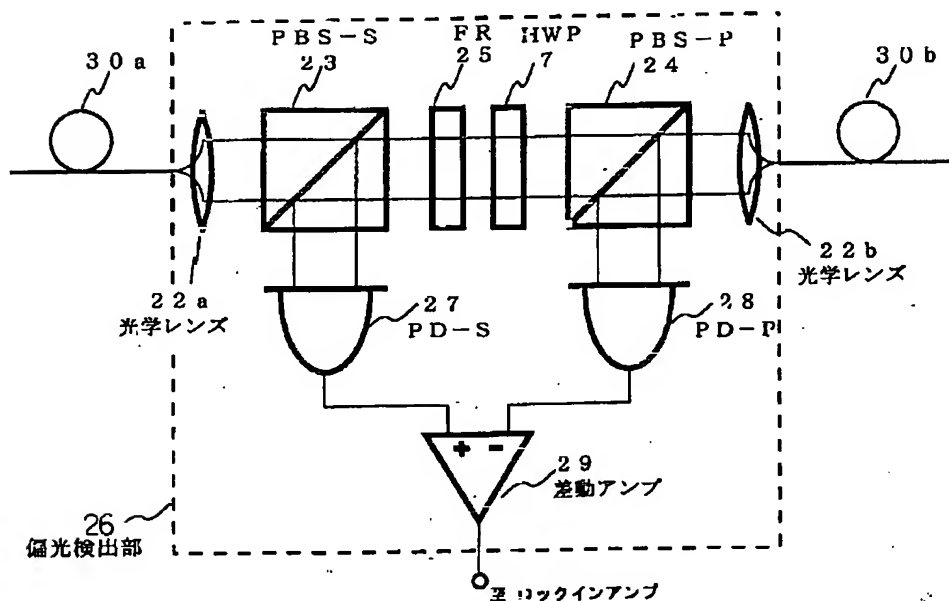
【図5】



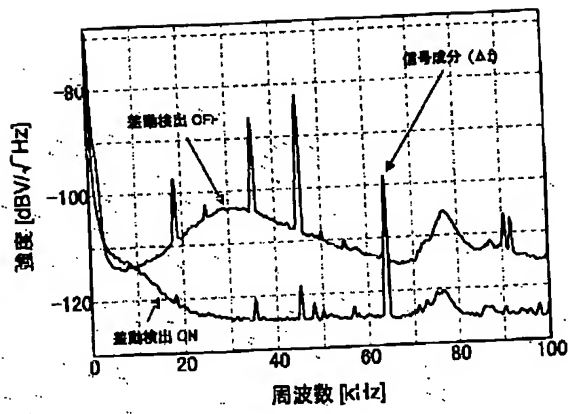
【図6】



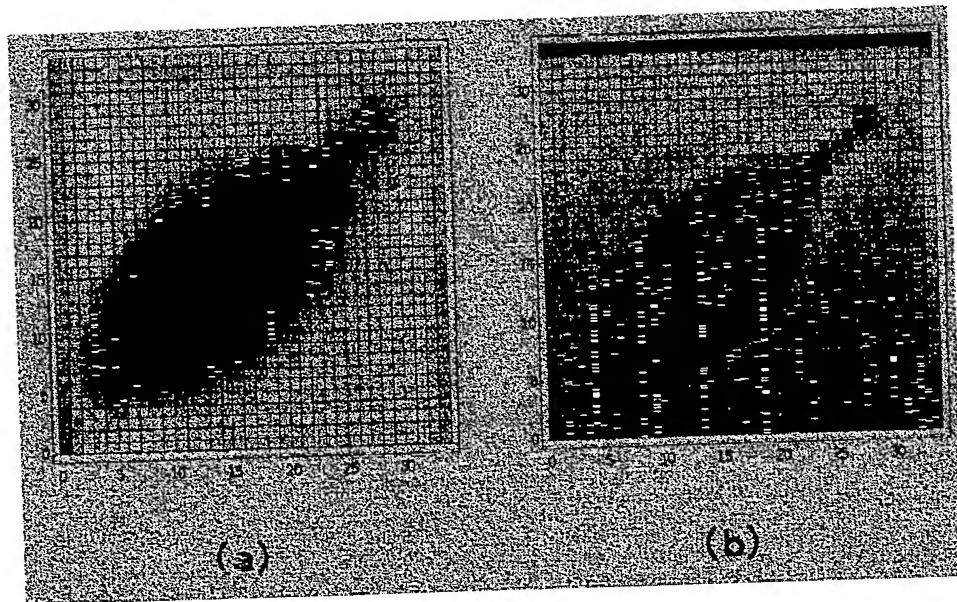
【図7】



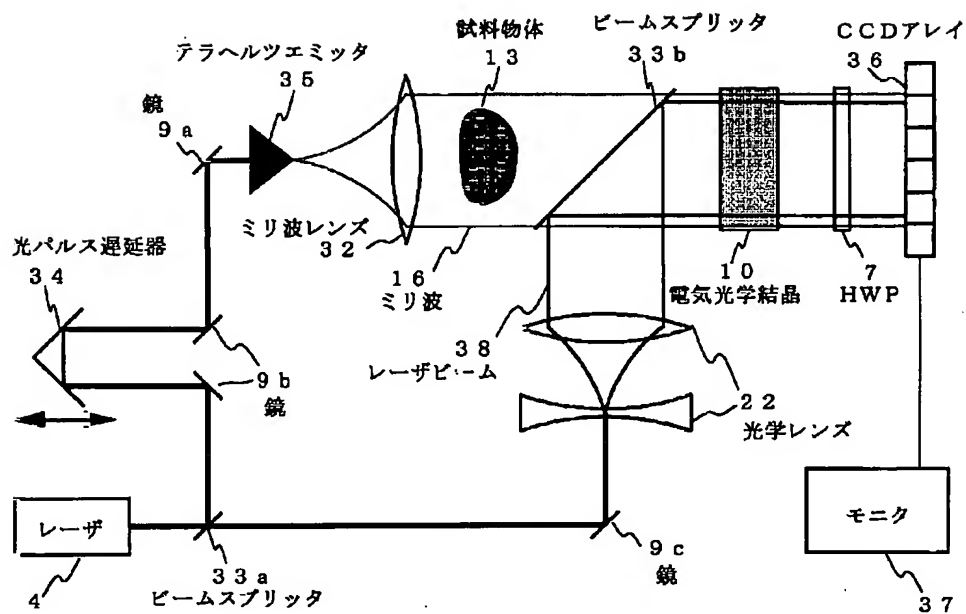
【图8】



【图9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 品川 満
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2G059 AA05 AA10 EE05 EE11 GG01
GG04 GG08 GG09 JJ13 JJ20
JJ22 JJ30 KK01 KK04 MM01

THIS PAGE BLANK (CONT)